

(Extracted Translation)

Japanese Laid-Open Patent Application

Laid-Open No.: 199403/1997

Laid-Open Date: July 31, 1997

Patent Application No.: 21972/1996

Patent Application Filing Date: January 14, 1996

Applicants: Kabushiki Kaisha Nikon

Inventors: T. Nishi

=====

Title of the Invention:

Projection Exposure Apparatus

[Summary]

(Problem) To reduce inferior exposure even when drift of the exposure illumination wavelength occurs.

(Solution) Illumination light emitted from an excimer laser (10) such as KrF or ArF acts to project a pattern of a reticle (18) on a wafer (22) through a projection lens (20). A wavelength monitor (50) monitors drift of the illumination wavelength, and an excimer laser control device 52 controls the wavelength. If, in this case, a main control device (54) discriminates the drift amount as being over a tolerable range of imaging characteristics, the wavelength drift amount is converted into a quantity of focus change upon the wafer (22) or a quantity of magnification change of the projection lens (20).

Focus correction through a focus optical system (34, 36) or magnification correction through a magnification correcting mechanism (16) is performed.

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-199403

(49) 公開日 平成9年(1997)7月31日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H01L 21/027			H01L 21/30	515B
G03F 7/20	502		G03F 7/20	502
	505			505
	521			521
			H01L 21/30	516A
審査請求 未請求 請求項の数 6 FD (全 10 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平8-21972

(22) 出願日 平成8年(1996)1月14日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 西 健爾

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

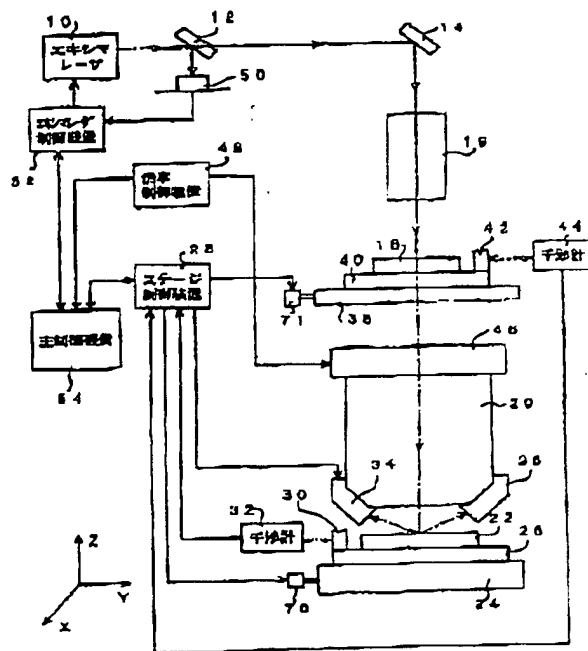
(74) 代理人 弁理士 梶原 康裕

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 露光照明波長がドリフトした場合でも露光不良の発生を低減する。

【解決手段】 KrFあるいはArFなどのエキシマレーザ (10) から射出された照明光は、レチクル (18) 上のパターンを投影レンズ (20) を介してウエハ (22) 上に投影露光する。波長モニタ (50) では、照明波長のドリフトがモニタされ、エキシマレーザ制御装置 52 で波長が制御されている。この場合に、主制御装置 (54) によってドリフト量が結像特性の許容範囲外と判断されたときは、波長のドリフト量がウエハ (22) におけるフォーカス変動量あるいは投影レンズ (20) における倍率変化量に変換され、フォーカス光学系 (34, 36) によってフォーカスが補正され、あるいは倍率補正機構 (40) によって倍率が補正される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源であるエキシマレーザから出力された照明光を利用して、レチクル上に形成されたパターンを投影手段によってウエハ上に投影する投影露光装置において、

前記照明光の波長ドリフトをモニタする波長モニタ手段；これによってモニタされた波長ドリフトが結像特性の許容範囲かどうかを判別するドリフト範囲判別手段；これによって波長ドリフトが許容範囲外と判断されたときに、波長のドリフト量を前記投影手段におけるフォーカス変動量に変換するフォーカス変動量変換手段；これによって得られたフォーカス変動量に基づいて、前記投影手段におけるフォーカス位置を補正するフォーカス補正手段；を備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 光源であるエキシマレーザから出力された照明光を利用して、レチクル上に形成されたパターンを投影手段によってウエハ上に投影する投影露光装置において、

前記照明光の波長ドリフトをモニタする波長モニタ手段；これによってモニタされた波長ドリフトが結像特性の許容範囲かどうかを判別するドリフト範囲判別手段；これによって波長ドリフトが許容範囲外と判断されたときに、波長のドリフト量を前記投影手段における倍率変化量に変換する倍率変化量変換手段；これによって得られた倍率変化量に基づいて、前記投影手段における倍率を補正する倍率補正手段；を備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項3】 請求項1又は2記載の投影露光装置において、

前記補正手段による補正の追従性を検知する追従検知手段；これによって追従性の悪化が検知されたときに、その旨のエラー表示を行うエラー表示手段；を備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項4】 光源であるエキシマレーザから出力された照明光を利用して、レチクル上に形成されたパターンを投影手段によってウエハ上に投影する投影露光装置において、

前記照明光の波長ドリフトをモニタする波長モニタ手段；これによってモニタされた波長ドリフトが結像特性の許容範囲かどうかを判別するドリフト範囲判別手段；これによって、波長ドリフトが許容範囲外と判断されたときに、波長のドリフト量に応じて照明光を減光する減光手段；を備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項5】 請求項4記載の投影露光装置において、ウエハに対する照明光の光量をモニタする光量モニタ手段；これによってモニタされた光量値から減光を確認し、露光処理を停止する露光制御手段；を備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項6】 請求項4又は5記載の投影露光装置において、

前記減光手段による減光時の露光対象と露光状態のデータを格納する減光データ格納手段；波長ドリフトがなくなったときに、前記減光データ格納手段に格納されたデータを参照して修正露光を行う修正露光制御手段；を備えたことを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、ICやLSIなどの半導体素子、液晶基板、薄膜磁気ヘッド等を製造するための投影露光装置にかかるものであり、更に具体的には、KrFやArFエキシマレーザなどのような照明波長が変動する光源を用いる場合に好適な投影露光装置に関するものである。

【0002】

【背景技術】投影露光装置は、半導体素子の集積度の向上に伴い、微小パターンを投影するために各種の改良が行われている。一般に解像度 λ は、照明波長 λ 、レジスト性能に依存するファクタを K 、投影レンズの開口数を NA とすると、 $L = (K \cdot \lambda) / NA$ で表わされる。これによれば、①ファクタ K を小さくすること、②開口数 NA を大きくすること、③波長 λ の短い照明光を用いることなどが、微小パターンを形成するために必要であるということになる。

【0003】これらの要素のうち、短波長化を目的とするものとして、KrFエキシマレーザ（波長248nm）やArFエキシマレーザ（波長193nm）を照明光源として用いた投影露光装置が注目されており、開発が進められている。しかし、これらのレーザを用いる場合、レンズ硝材が限られてしまい、石英ガラスや螢石ガラスのみしか利用できない。更に、これらの硝材を用いたとしても、色消しが困難であり、レンズのみの組合せで許容される波長変動幅は数 μm ～数10 μm である。従って、レーザの狭帯化が必要となる。

【0004】そこで、従来は、インジェクションロックン装置を用いて狭帯域化が行われている。しかし、エキシマレーザ内の反射ミラーやグレーティング、あるいはエタロンなどがドリフトすることで共振波長が変動するため、共振波長をモニターし、その都度エキシマレーザ内で波長を補正している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような背景技術においては、波長ドリフトが制御範囲を大きく超えた場合、その制御ができなくなり、結果的に照明波長がドリフトしてしまう可能性がある。照明波長がドリフトした場合、レチクル100から投影レンズ102を介してウエハ104上に投影される像のフォーカス位置が、図6(A)の合焦位置から同図(B)のように変化し、△の誤差が発生する。更に、波長がドリフトした場合、フォーカス位置のみならず、投影倍率や収差も変化するようになり、所望のレチクルパターン像をウエハ

上に形成できなくなってしまう。

【0006】この発明は、以上の点に着目したもので、照明波長（露光波長）がドリフトした場合でも、所望のレチクルパターン像を形成することができる投影露光装置を提供することを、その目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

【発明の開示】前記目的を達成するため、この発明では、KrFあるいはArFなどのエキシマレーザ（10）を用いた照明光源より射出された照明光によってレチクル（18）上のパターンを投影手段（20）を介してウエハ（22）上に投影露光する装置において、波長モニタ手段（50）により照明波長のドリフトがモニタされる。そして、ドリフト範囲判別手段（54）によってドリフト量が結像特性の許容範囲外と判断されたときは、フォーカス変動量変換手段（54）によって波長のドリフト量がフォーカス変動量に変換され、フォーカス補正手段（28, 34, 36）によってフォーカス補正される。また、この発明によれば、ドリフト量が許容範囲外と判断されたときは、倍率変化量変換手段（54）によって投影手段における倍率変化量に変換され、倍率補正手段（46, 48）によって倍率補正される。

【0008】この発明によれば、波長ドリフトによる露光不良の発生が防止されるとともに、波長ドリフト発生時に露光エラーを発生させて装置を停止させることによるダウンタイムをなくすこともできる。

【0009】他の発明では、波長のドリフト量が許容範囲外と判断されたときに、減光手段（60, 62）により波長のドリフト量に応じて照明光が減光される。これにより、減光されたショットの再露光が可能となる。この手法は、特にスキャン型露光装置における波長ドリフト発生時の露光ショット修復に効果的である。

【0010】この発明の前記及び他の目的、特徴、利点は、以下の詳細な説明及び添付図面から明瞭になろう。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、発明の実施の形態について実施例を参照しながら詳細に説明する。以下の実施例に示す投影露光装置は、いわゆるステッパ&スキャン型のものである。

【0012】

【実施例1】図1には、実施例1による投影露光装置の構成が示されている。まず、基本的な露光動作を説明すると、エキシマレーザ10から出力されたパルス状の照明光のうち、ハーフミラー12を透過した光は、ミラー14で反射偏向された後、照明光学系16に入射する。照明光学系16中には、ビームエキスパンダ、フライアイレンズ、リレー光学系（いずれも図示せず）などが配置されており、照明光としての照度を均一化するとともに、所望の照明条件（例えばσ値の決定など）を満たすようにパルス光が成形される。そして、この成形後のパ

ルス光が、露光用照明光としてレチクル18を照射する。レチクル18を透過した光は、投影レンズ20によってウエハ22上に集光し、レチクル上のパターンがウエハ22上に投影され、ウエハ22が露光される。

【0013】ところで、前記ウエハ22は、XYステージ24上のZチルトステージ26上に載置されており、ステージ制御装置28を介してモータ70によりX、Y及びZチルト（傾きθ）方向に移動可能に構成されている。この移動制御のために、Zチルトステージ26上に移動鏡30が配置されており、これと干渉計32とを用いてX、Y方向について高精度に位置計測が可能となっており、この干渉計32からの位置情報に基づいてXYステージ24の位置決め制御が行われる。また、ウエハ22の表面がフォーカス検出光学系34、36によって観察されており、これによってZチルト方向にも高精度の位置決め制御が行われる。

【0014】これに対し、レチクル18はレチクル支持台38上のレチクルステージ40上に載置されている。レチクルステージ40もステージ制御装置28を介してモータ71によりX、Y、Zチルト（傾きθ）方向に移動可能となっている。そして、ウエハステージ側と同様に、レチクルステージ40上の移動鏡42と干渉計44を用いてX、Y、Zチルト（傾きθ）方向の位置決め制御がステージ制御装置28により行われる。

【0015】このように、本実施例では、ステージ制御装置28によってレチクル18及びウエハ22の駆動制御が行われる。そして、特に露光動作のときは、レチクル18及びウエハ22を投影レンズ20に対して相対的にスキャンすることで露光が実施されており、ウエハ22のスキャン速度Vに対し投影倍率m（例えば、1/4又は1/5倍）で除算した速度V/mでレチクル18のスキャンが行なわれるように同期制御が行なわれる。

【0016】次に、投影レンズ20には倍率補正機構46が設置されており、投影レンズ20のレチクル側のレンズ素子のレンズ間隔を微小制御することで投影レンズ倍率を変化させることができる構成となっている。この倍率補正機構46は、倍率制御装置48によって制御されるようになっている。このような倍率補正機構46は、例えば特開平4-134813号公報に開示されている。

【0017】次に、上述したエキシマレーザ10の射出側に設けられたハーフミラー12の光偏向側（反射側）には、波長モニタ50が設けられている。この波長モニタ50は、パルス発光と同期して入射光をサンプリングするためのもので、その出力側はエキシマレーザ制御装置52に接続されている。エキシマレーザ制御装置52は、波長ドリフトの有無をモニタするとともに、モニタ結果に応じてエキシマレーザ10内の反射ミラー（図示せず）を微小制御するためのものである。

【0018】上述したステージ制御装置28、倍率制御

装置48、エキシマレーザ制御装置52は、いずれも主制御装置54に接続されている。本実施例の主制御装置54では、図2に示すような動作が実行される。

【0019】次に、本実施例の波長変動時の動作を説明する。エキシマレーザ10から射出されたパルス光のうち、ハーフミラー12を透過した光は、上述したようにして露光に供される。一方、ハーフミラー12で反射偏向された光は、波長モニタ50に入射し、ここでパルス発光と同期してサンプリングされる（図2ステップS10）。波長モニタ50におけるサンプリング結果は、エキシマレーザ制御装置52に供給され、ここでエキシマレーザ10の波長ドリフトの有無がモニタされる。エキシマレーザ制御装置52では、波長ドリフトの発生を防ぐようにエキシマレーザ10内の反射ミラーを微小制御することで、フィードバック制御が行われる。これによって、通常であれば、エキシマレーザ10の波長ドリフトは所定範囲内に制御される（ステップS12のYes）。

【0020】波長制御の目標値 λ_0 に対する許容値 $\pm \Delta \lambda$ の値、すなわち結像特性の許容範囲は外部から設定できようになっているが、ここではデフォルトとして例えば波長モニタ50の計測再現性の2倍の値が設定されているものとする。もし、波長モニタ50の計測値 λ が $\lambda \geq \lambda_0 + \Delta \lambda$ である場合、S10→S12→S10→……のループの動作が露光中繰り返される。

【0021】しかし、エキシマレーザ制御装置52による制御範囲を上回るような大きな波長ドリフトが発生すると、変動した波長の光で露光が行われるようになり、結像不良が生ずるようになる。例えば、 $\lambda > \lambda_0 + \Delta \lambda$ となった場合、波長ドリフト量 $\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0$ が、ウェハ22上のフォーカスシフト ΔF と、投影レンズ20の倍率変化 ΔM に主制御装置54によって変換される（ステップS14）。そして、倍率変化 Δm は、倍率制御装置48に供給され、ここで倍率補正機構46に指示して補正が行われる（ステップS16）。また、フォーカスシフト ΔF は、ステージ制御装置28に供給され、ここでフォーカス光学系34、38のサーボ値にオフセットをかけることで補正される（ステップS18）。

【0022】そして、エキシマレーザ制御装置52では、波長ドリフトの変化からフォーカス、倍率の補正の追従制御の応答性がチェックされる（ステップS20）。その結果、波長ドリフト変化速度が遅く、フォーカス及び倍率制御が十分に追従していると考えられる場合は、結像特性に問題はなく、露光動作がそのまま続けられる（ステップS22のYes）。しかし、波長ドリフト変化が異常な場合、例えば同期が短かったり、変化量が大きすぎる場合は（ステップS22のNo）、その他の収差も悪くなるので、エキシマレーザ制御装置52によって主制御装置54にショット焼き付けエラー表示が指示され（ステップS24）、オペレータの対処が求めら

れる。

【0023】このように、本実施例によれば、照明波長が結像特性の許容値を越えてドリフトした場合には、そのドリフト量に応じたフォーカス変動量及び倍率変化量が算出され、これらの算出値に相当するフォーカス及び倍率の補正が行われる。これにより、波長ドリフトに基づく露光不良の発生は良好に低減されて歩留りが向上する。また、波長ドリフト発生時に露光エラーを発生させて装置全体を停止させることによるダウンタイムも減少し、作業効率が向上する。

【0024】

【実施例2】次に、図3～図5を参照しながら実施例2について説明する。なお、上述した実施例1と対応する構成部分には、同一の符号を用いる。前記実施例では、波長ドリフトが許容値を越えた場合にフォーカス及び倍率を補正したが、この実施例2では減光処理が行われる。

【0025】図3において、エキシマレーザ10の光射出側には、追従減光駆動装置（減光フィルタ）60が設置されており、これによって照明光が任意の光量に減光される構成となっている。その減光の程度は、減光制御装置62で制御されるようになっており、上述した波長モニタ50の出力結果に応じて主制御装置54により減光量が決定される。また、照明光学系16中には、ハーフミラー64が設けられており、これによって取り出された一部の光束がインテグレートセンサ66に入射する構成となっている。このインテグレートセンサ66は、露光光の照度を常時モニタするためのもので、その出力側は照度演算装置68を介して主制御装置54に接続されている。これにより、減光に対するエラー情報が主制御装置54に供給される。

【0026】次に、以上のように構成された実施例2の動作について、そのシーケンスを示す図4を参照しながら説明する。まず、波長モニタ50によるレーザ光波長のサンプリング（図4、ステップS30）と、それが結像特性の許容範囲内かどうかのドリフトチェック（ステップS32）は、前記実施例1と同じである。そして、波長ドリフトが許容範囲を越えた場合には（ステップS32のYes）、主制御装置54によって減光制御装置62に指令が行われ、減光駆動装置60によって波長ドリフト $\Delta \lambda$ に応じた減光が連続的に行われる（ステップS34）。これは、すぐにパルスを停止すると、その露光中のショットの復元はできないが、スキャン露光の場合、修正露光時にその露光量に応じて修正露光すれば、復元が可能になるためである。

【0027】このように、許容範囲以上の波長ドリフトが生じた場合、別言すれば波長ドリフトが結像特性に影響を及ぼすか否かを判断し、影響があると判断した時点で、減光駆動装置60によって減光を行うことで、露光不良の発生が防止される。この減光が実施された場合に

は、減光データ、すなわち、減光を実施したウエハ、ショット、ショット内減光開始位置、減光量などの露光対象及び露光状態のデータが主制御装置54で再露光のために記憶される(ステップS36)。

【0028】そして、そのショットの露光終了後、ステッピングを行う際に、波長ドリフトが戻っている可能性があるため、ダミーパルス露光を行い、インテグレートセンサ66で照度もモニタする(ステップS38)。そして、減光、すなわち、目標照度より照度が低く、かつ波長ドリフトが許容値以外であることが確認されると、主制御装置54によって露光中に波長ドリフトが発生したことが確認されたことになり(ステップS40)、そのウエハはウエハ退避カセット(図示せず)に収納され、前記記憶した減光データが修正露光用ファイルとして、保存される(ステップS42)。

【0029】その後、露光装置は、所定時間の間、S49→S50のシーケンスを繰り返すウエイティング状態に入る(ステップS46)。所定時間経過しても波長ドリフトが許容値以内にならない場合、主制御装置54によってエラー終了モードであると判断され、エラー表示を行って(ステップS48)終了する。但し、エラー終了時、前記修正露光用ファイルは保存されるので、エラーの原因調査後に、再び前記収納されたカセット内のウエハの修正露光を行うことは可能である。

【0030】他方、S49→S50のシーケンスを繰り返すウエイティング状態で、所定時間内に、波長ドリフトが許容値内に入った場合は、退避カセットよりウエハを自動的に取り出し、前記修正露光ファイルの情報に従って修正のための露光が実施される(ステップS44)。その修正露光の後、通常シーケンスにて露光が継続される。

【0031】また、S40に戻って、目標照度より照度は低いが、波長ドリフトが許容値以内である場合には、ステッピング時点で、既に波長ドリフトが無くなっていることになるので、前記記憶した減光データに従って、そのショットの修正露光を行うことになる(ステップS51)。その修正露光の後、通常シーケンスにて露光が継続される。

【0032】図5には、以上の動作の様子が示されている。同図(A)は、ショット露光中のパルス光光量を示したもので、横軸は時間、縦軸は波長である。なお、同図中丸印が1つのパルスに相当し、 $\pm \Delta \lambda$ の範囲が結像特性に影響しない範囲である。同図の例では、時間 t_1 で、波長ドリフトが許容範囲をオーバーしている。この時点で、同図(B)に示すように、パルス露光量が徐々に低減され、波長ドリフトに対応して光量が少なくなるように制御される。そして、波長ドリフトが修正された時点 t_2 で、同図(C)にグラフG1で示すように修正露光が行なわれる。グラフG2は、上述した同図(B)の減光グラフであり、この減光による不足光量をグラフG

1で修正露光することでトータルの露光量が等しくなるように、修正露光(再露光)が行われる。グラフG3は、グラフG1、G2を加算したトータル露光量である。このような実施例2の手法は、特に走査系露光装置における波長ドリフト時の露光ショットの修復に有効である。

【0033】このように、実施例2によれば、許容値以上の波長ドリフトが発生した場合に、減光を行い、その後波長ドリフトがなくなった時点で修正露光を行うこととしたので、照明波長がドリフトした場合でも、露光不良の発生を低減することができ、装置のダウンタイムを低減することができる。また、ショット露光中に許容以上の波長ドリフトが発生しても、均一でかつ良好な結像で同ショットを修復することが可能となる。

【0034】なお、減光駆動装置60によって減光フィルタを入れる(レーザ10自身で減光を行ってもよい)と、ウエハ22上のレジストはわずかに露光されて潜像となるが、それを調べることで、どこまで波長がドリフトした状態で露光されたかを知ることができる。

【0035】

【その他の実施例】この発明には数多くの実施の形態があり、以上の開示に基づいて多岐に収束することが可能である。例えば、次のようなものも含まれる。

(1) 本発明は、いわゆるステップ&スキャン方式の露光装置に好適であるが、静止露光とステッピングを繰り返すいわゆるステップ&リピート方式のものに適用することを妨げるものではない。

(2) その他、各部の構成は、本発明の趣旨の範囲内で同様の作用を奏するように設計変更が可能である。

【0036】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、露光照明光の波長ドリフトが生じた場合でも、結像不良が発生しないように、フォーカスや倍率の補正、あるいは減光を行うこととしたので、露光不良の発生を低減することができるとともに、装置のダウンタイムも減少するという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例1の装置構成を示すブロック図である。

【図2】実施例1の動作シーケンスを示すフローチャートである。

【図3】この発明の実施例2の装置構成を示すブロック図である。

【図4】実施例2の動作シーケンスを示すフローチャートである。

【図5】実施例2の減光及び修正露光の作用を示すグラフである。

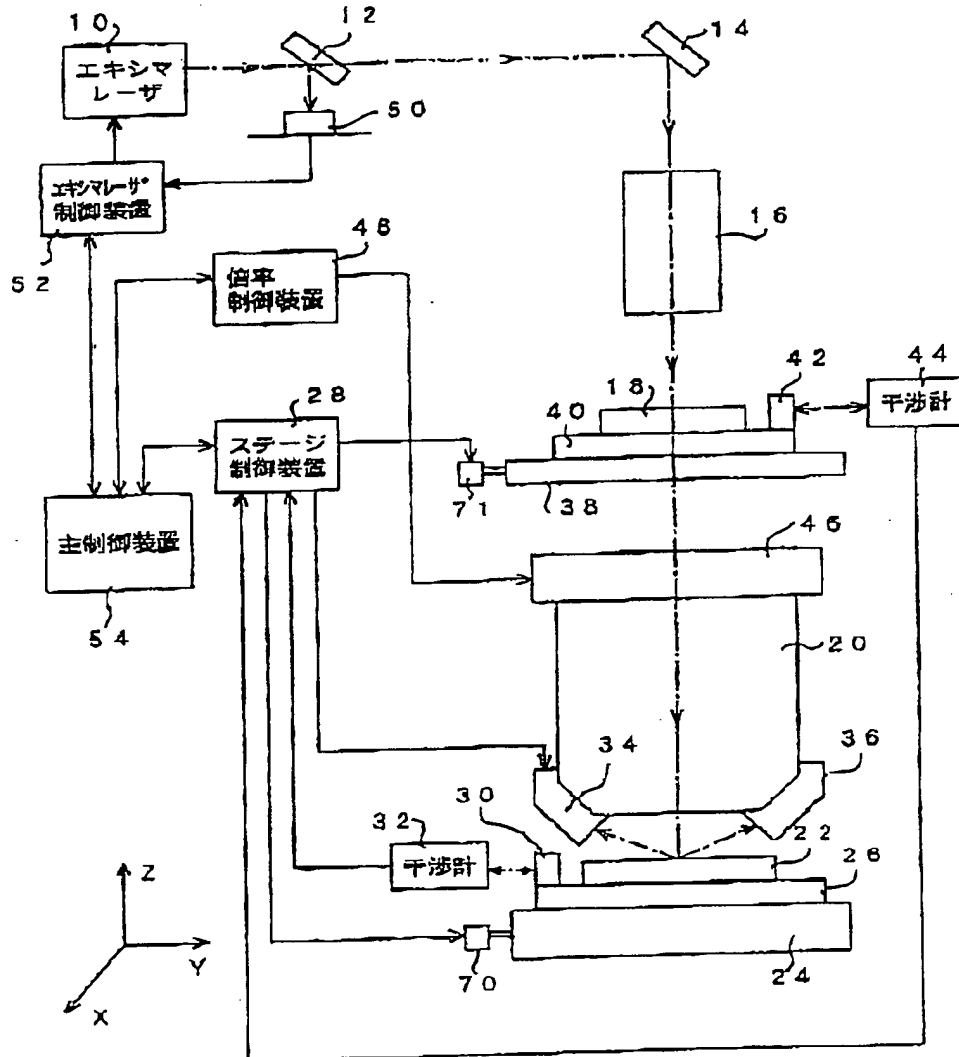
【図6】背景技術における波長ドリフト時のフォーカス変動を示す図である。

【符号の説明】

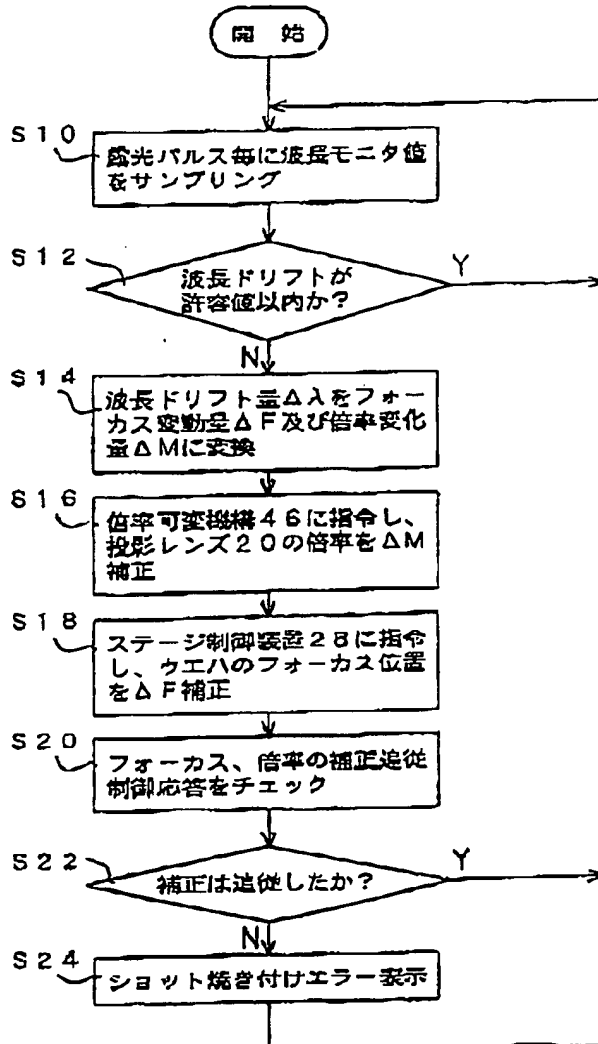
10…エキシマレーザ
 16…照明光学系
 18…レチクル
 20…投影レンズ
 22…ウエハ
 28…ステージ制御装置
 34, 36…フォーカス光学系
 46…倍率補正機構
 48…倍率制御装置

50…波長モニタ
 52…エキシマレーザ制御装置
 54…主制御装置
 60…連続減光駆動装置
 62…減光制御装置
 66…インテグレートセンサ
 68…照度演算装置
 70, 71…モータ

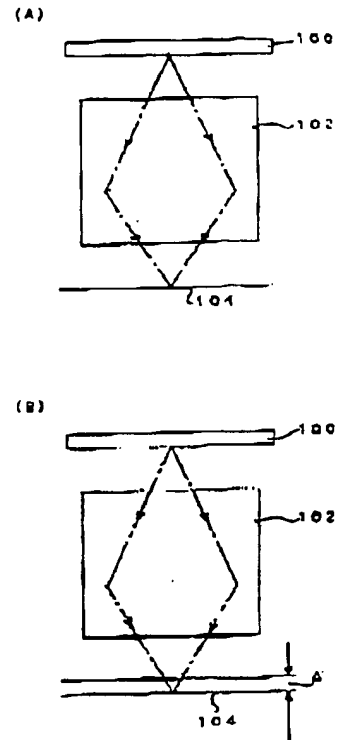
【図1】



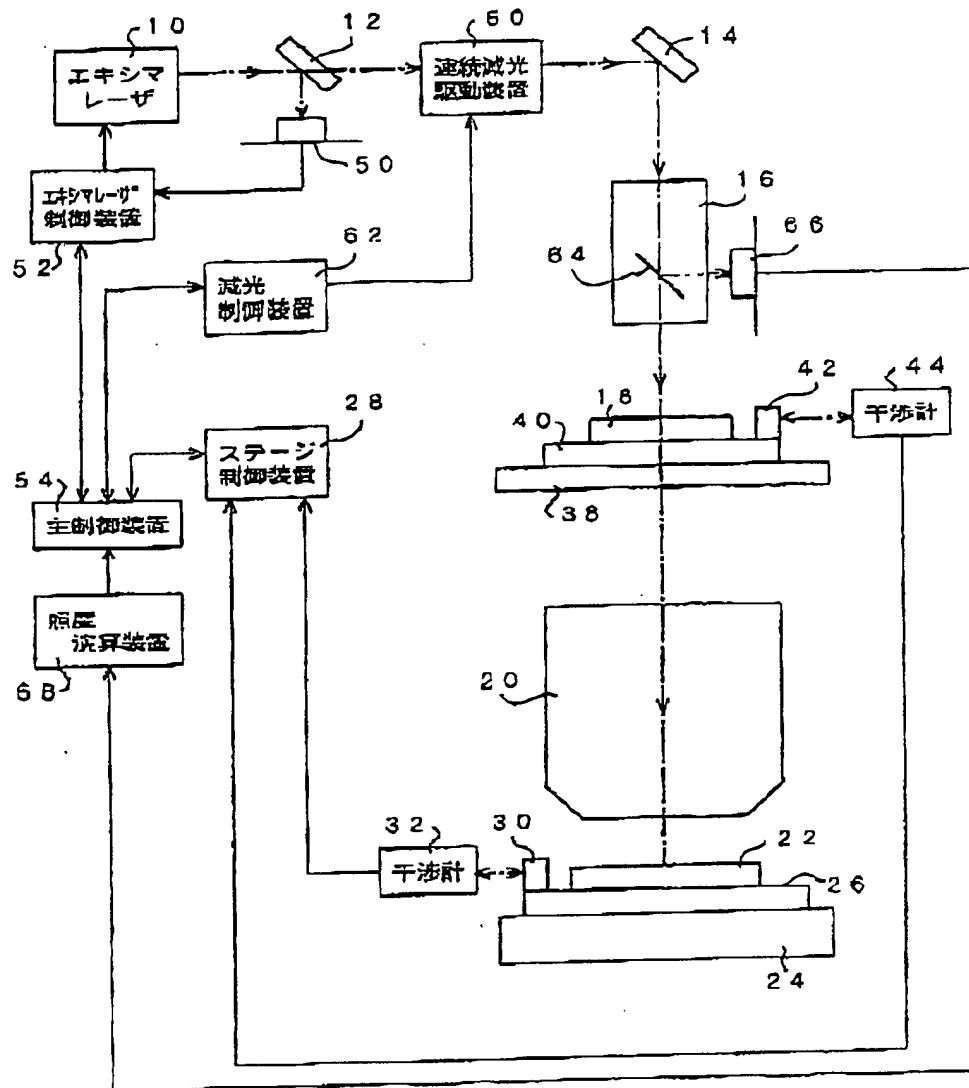
【図2】



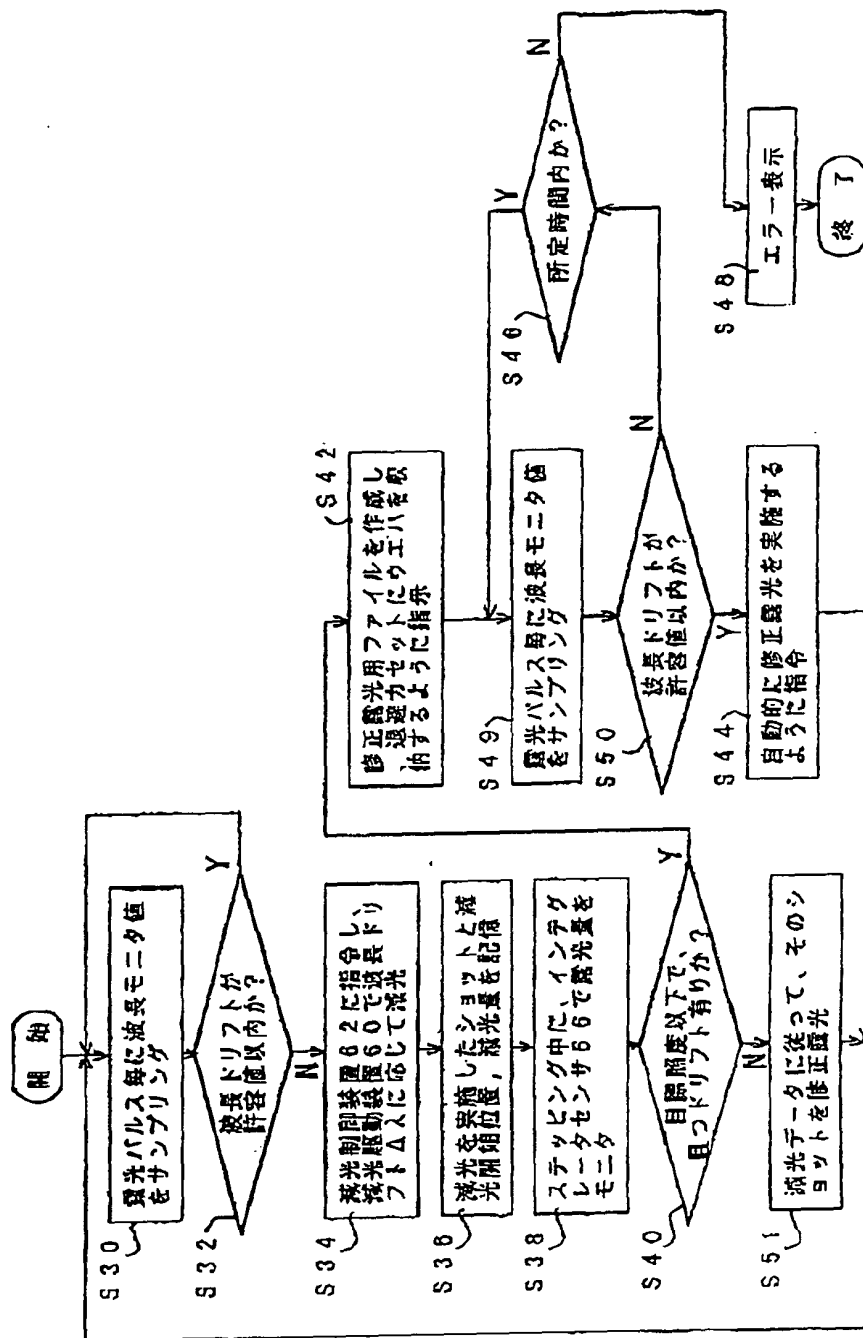
【図6】



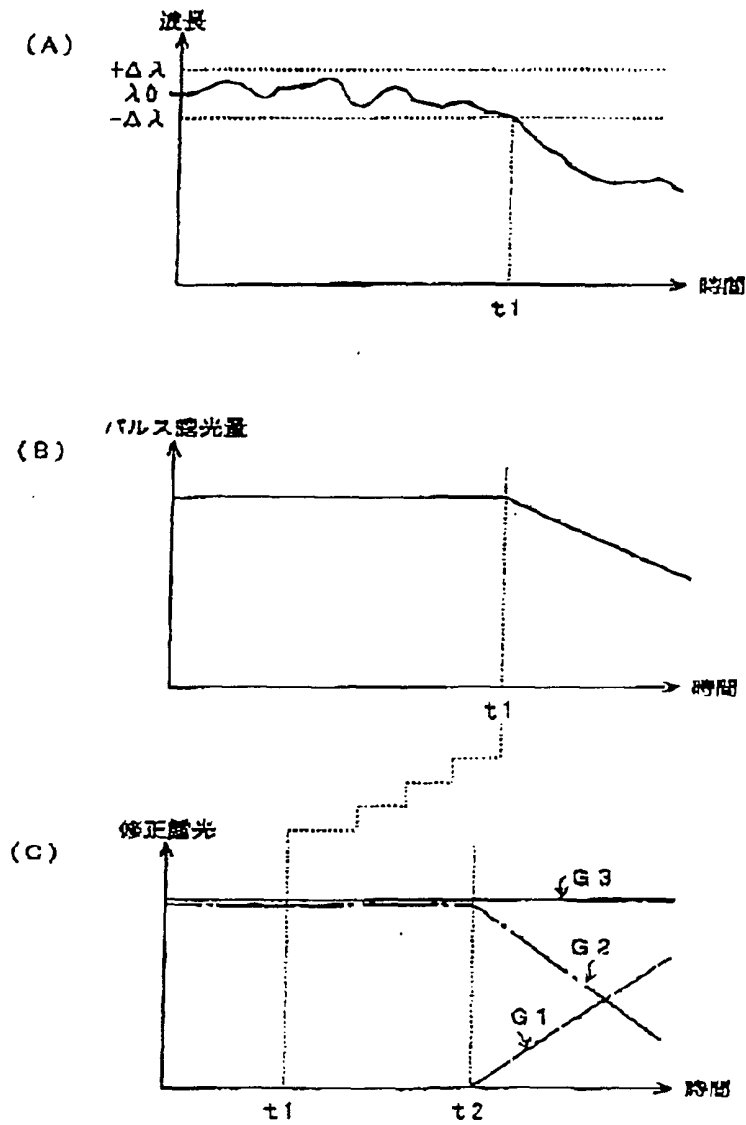
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(S) Int. Cl. 6

識別記号 片内整理番号

F I
H O I L 21/30

技術表示箇所

516C